

## Работа 17. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕЛЯХ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Цель работы - исследование переходных процессов в цепях второго порядка, структура которых вследствие коммутации периодически изменяется; определение влияния элементов цепи на характер переходных процессов.

### ЭЛЕМЕНТЫ И ПРИБОРЫ

Резисторы:  $R_2=50$  Ом,  $R_3=100$  Ом,  $R_6=300$  Ом; катушка индуктивности  $L_1$  с активным сопротивлением  $R_{kl}$  (значения индуктивности и активного сопротивления катушки указаны на стенде); конденсатор  $C_1=1$  мкФ, источник постоянного напряжения с регулируемой ЭДС  $E_2=0-24$  В и внутренним сопротивлением  $R_{em}=2$  Ом; электронный ключ с частотой переключения  $f=50$  Гц; блок переменного сопротивления  $R_4=1-999$  Ом; двухканальный осциллограф.

Для обеспечения работы ключа с частотой  $f=50$  Гц тумблер "синхронизация" должен находиться в положении "внутр".

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

#### Экспериментальная часть

1. Исследовать переходные процессы в цепи, структура которой изменяется в зависимости от положения электронного ключа (ЭК).

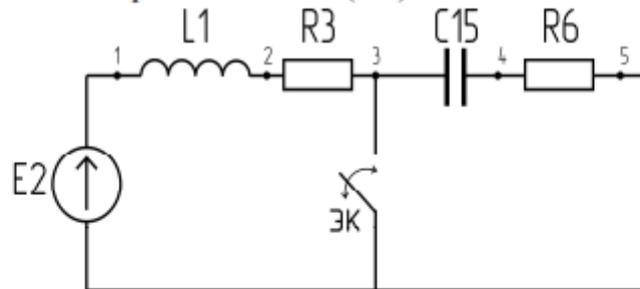


Рис.52,а

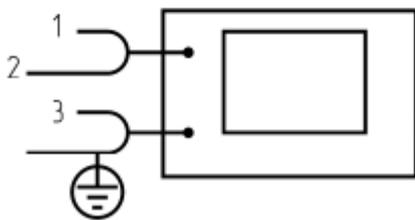


Рис.52,б

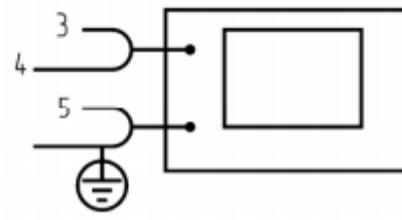


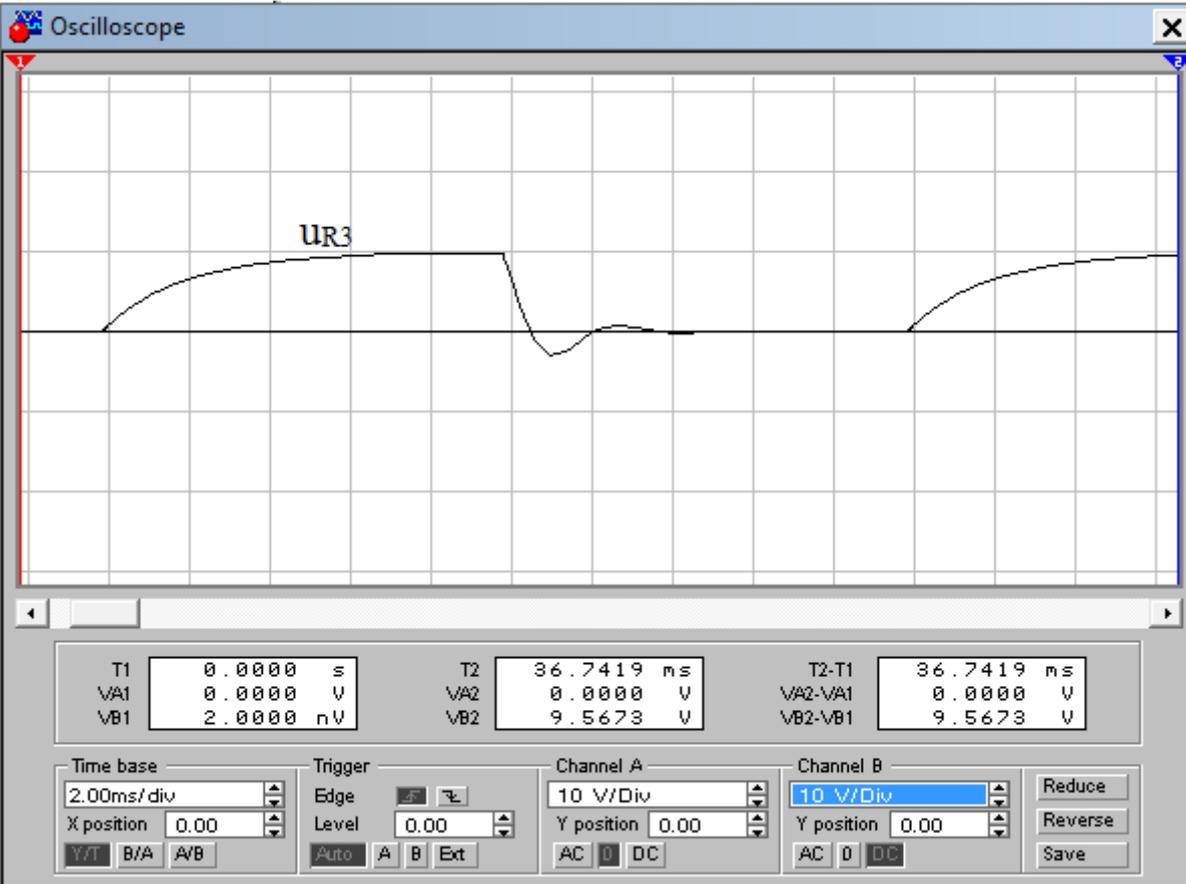
Рис.52,в

Для этого:

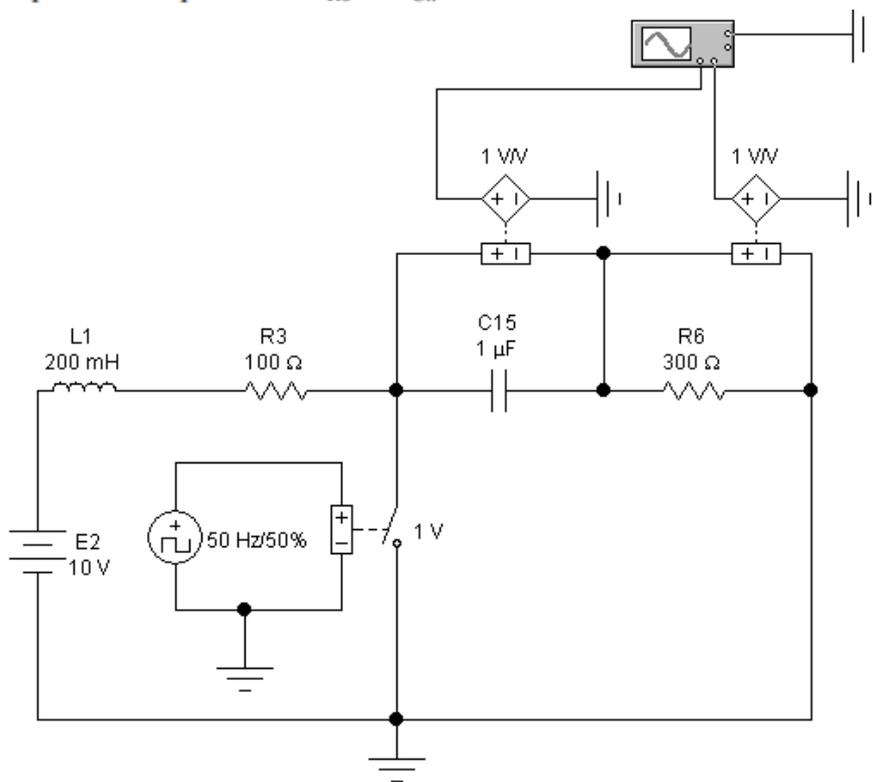
1.1. собрать цепь по схеме рис.52,а, установив  $E_2=10$  В;

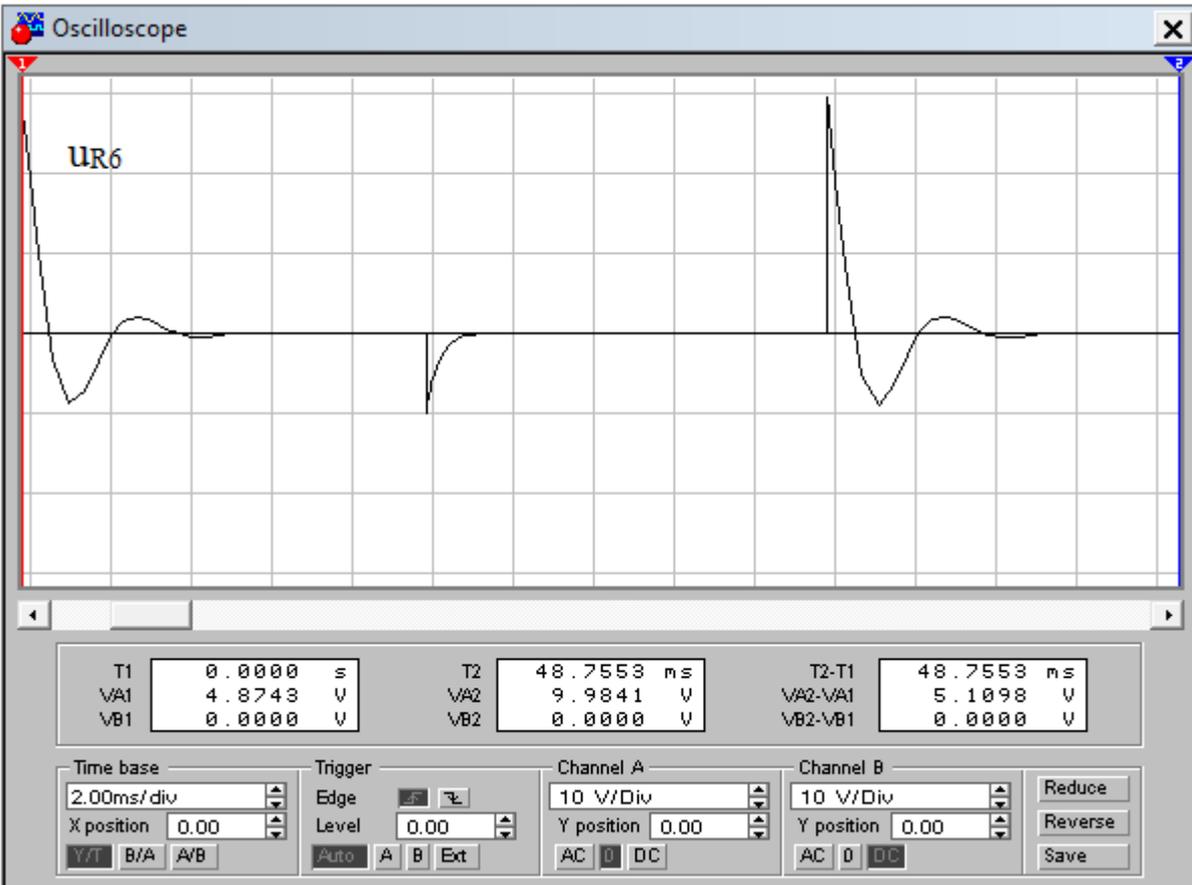
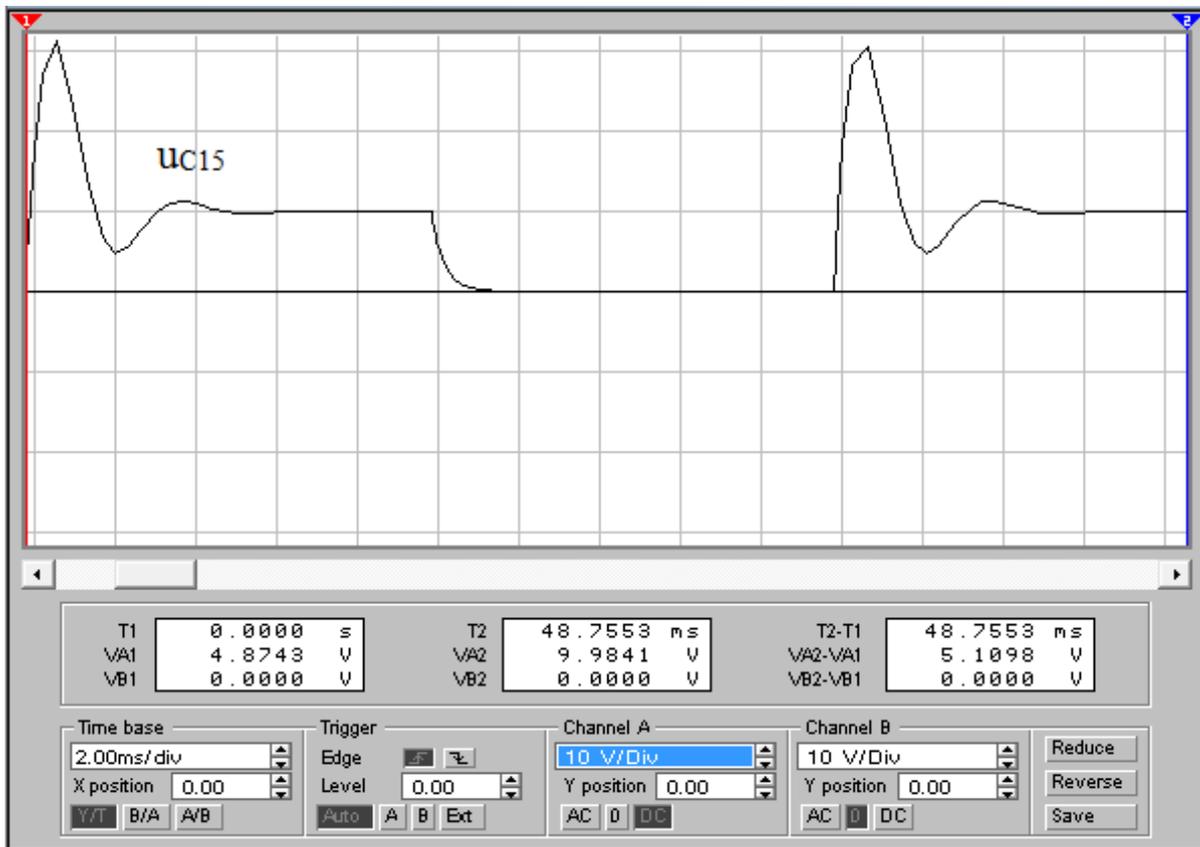
1.2. подключить к цепи осциллограф согласно схеме рис.52,б и зарисовать с экрана осциллографа кривые напряжения  $u_R$  и  $u_L$  (шток фазового сдвига выдвинут);





1.3. подключить к цепи осциллограф по схеме рис.52,в и зарисовать с экрана кривые напряжения  $u_{R6}$  и  $u_C$ .





2. Собрать цепь по схеме рис.53 ( $R_4=100\ \text{Ом}$ ,  $E_2=10\ \text{В}$ .)

Подключить один из каналов осциллографа параллельно конденсатору  $C_{15}$ , затем

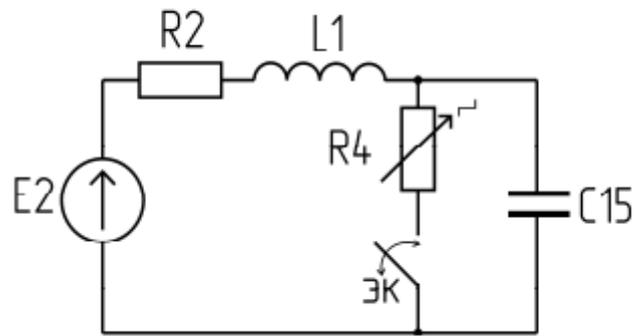
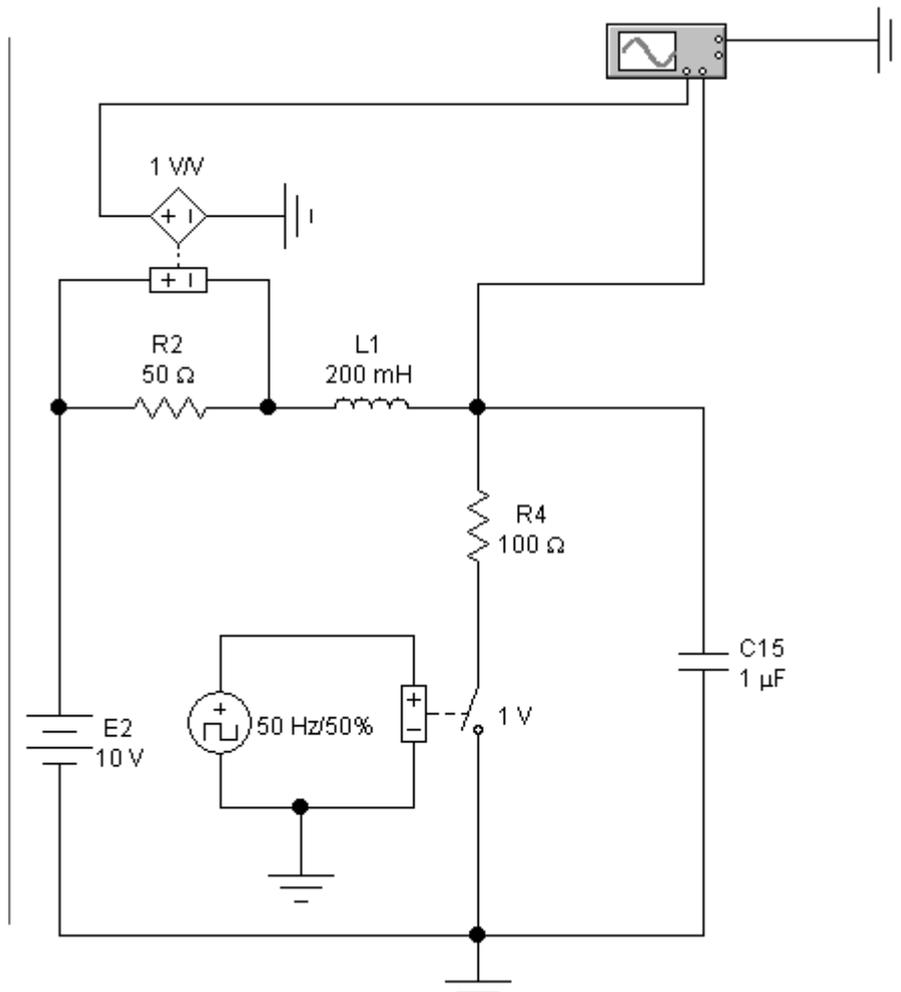
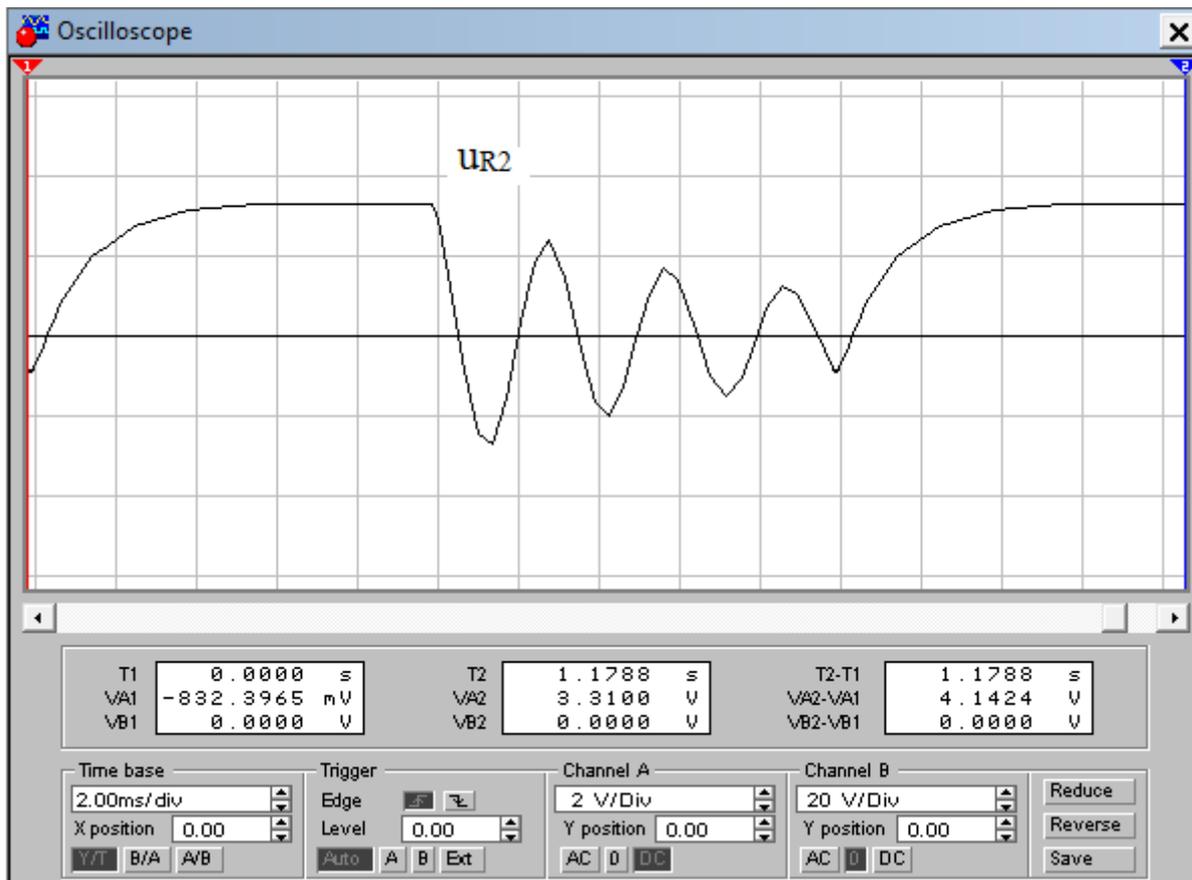
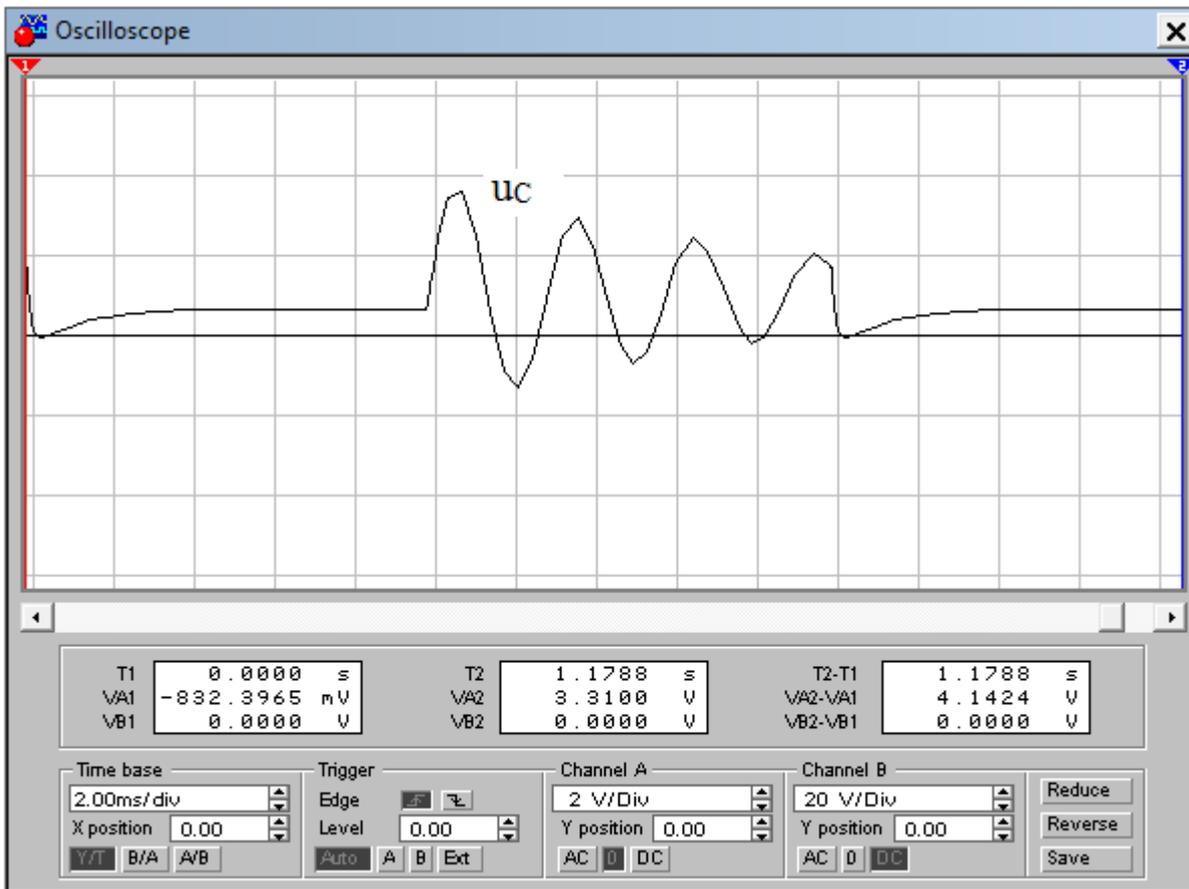


Рис.53

резистору  $R_2$ . Зарисовать кривые изменения напряжений  $u_C$  и  $u_{R_2}$  для двух положений электронного ключа.





3. Для схемы рис.53 рассчитать такое значение сопротивления  $R_4$ , при котором при размыкании и замыкании ключа переходные процессы имеют колебательный характер.

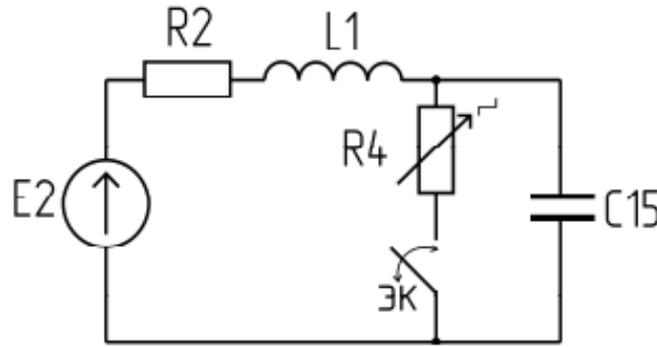


Рис.53

$$R_2 = 50 \text{ Ом} \quad L_1 = 0.2 \text{ Гн} \quad C_{15} = 1 \times 10^{-6} \text{ Ф}$$

при замыкании

$$Z(p) = R_2 + p \cdot L_1 + \frac{R_4 \cdot \frac{1}{p \cdot C_{15}}}{R_4 + \frac{1}{p \cdot C_{15}}} = \frac{(R_2 \cdot R_4 \cdot p \cdot C_{15} + R_2 + p^2 \cdot L_1 \cdot R_4 \cdot C_{15} + p \cdot L_1 + R_4)}{(R_4 \cdot p \cdot C_{15} + 1)}$$

$$= \frac{1}{5} \cdot \frac{(250 \cdot R_4 \cdot p + 2.5 \times 10^8 + p^2 \cdot R_4 + 10^6 \cdot p + 5 \times 10^6 \cdot R_4)}{(R_4 \cdot p + 10^6)}$$

$$Z(p) = 0 \quad 250 \cdot R_4 \cdot p + 2.5 \times 10^8 + p^2 \cdot R_4 + 10^6 \cdot p + 5 \times 10^6 \cdot R_4 = 0$$

$$a = R_4 \quad b = 10^6 + 250 \cdot R_4 \quad c = 5 \times 10^6 \cdot R_4 + 2.5 \times 10^8$$

$$D = \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c} = \sqrt{(10^6 + 250 \cdot R_4)^2 - 4 \cdot R_4 \cdot (5 \cdot 10^6 \cdot R_4 + 2.5 \cdot 10^8)} = \sqrt{10^{12} - 5 \times 10^8 \cdot R_4 - 19937500 \cdot R_4^2} < 0$$

$$10^{12} - 5 \times 10^8 \cdot R_4 - 19937500 \cdot R_4^2 = 0$$

откуда найдём положительный корень

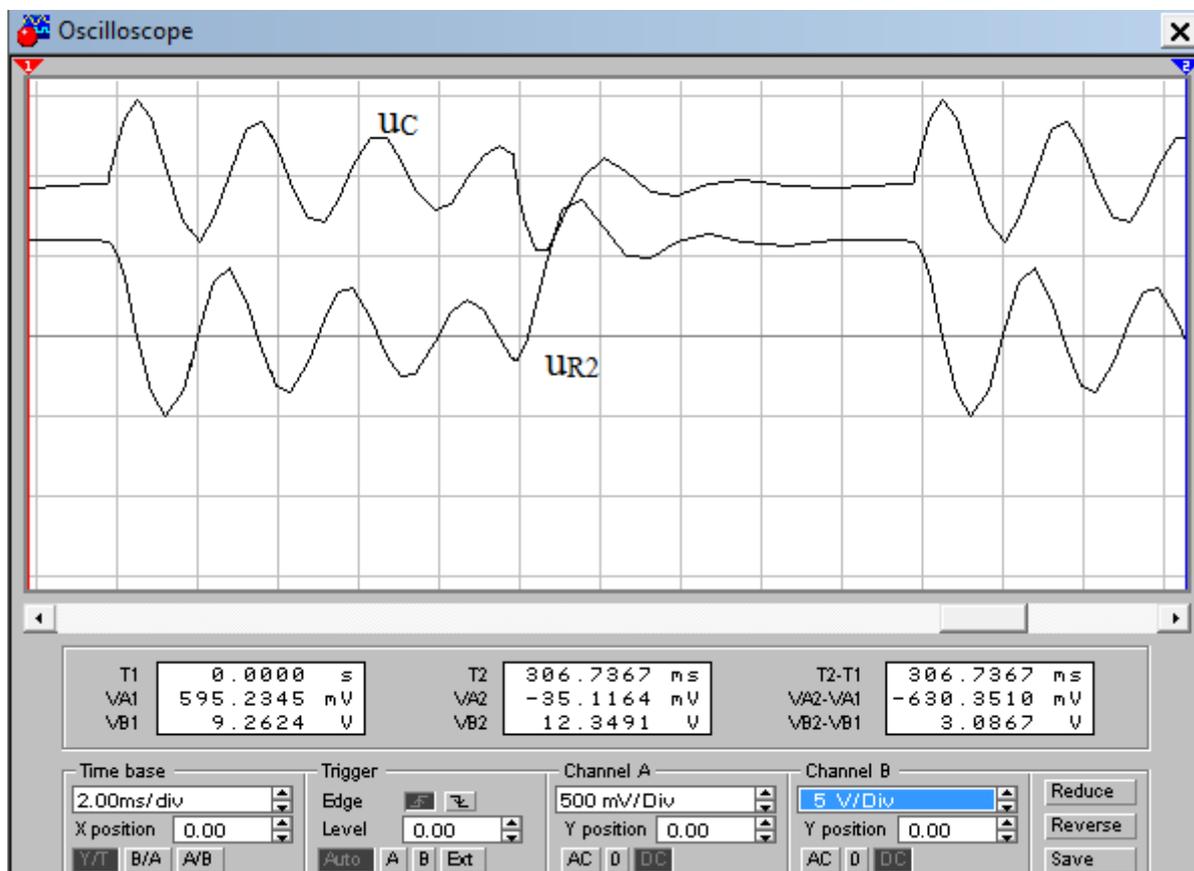
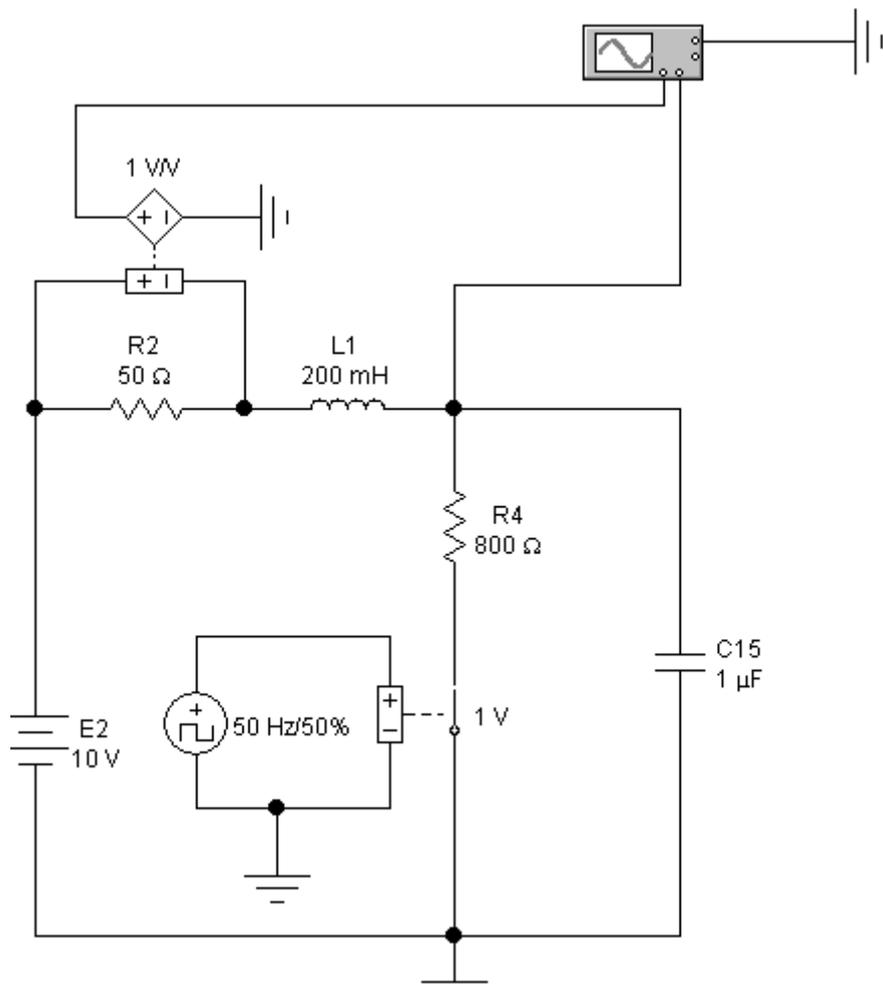
тогда  $R_4 > 211.769 \text{ Ом}$  например  $R_4 = 800 \text{ Ом}$

при размыкании имеем колебательный процесс так как

$$\frac{R_2}{2 \cdot L_1} = 125 \quad \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_{15}}} = 2.236 \times 10^3$$

$$\frac{R_2}{2 \cdot L_1} < \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_{15}}}$$

4. Установить расчетное значение сопротивления  $R_4$  и повторить п.2.



## Расчетная часть

1. Объяснить вид переходных процессов в цепи рис.52,а. Рассчитать постоянные времени переходных процессов в цепи при замыкании и размыкании электронного ключа.

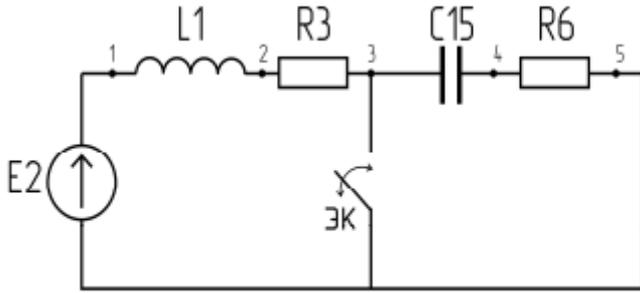
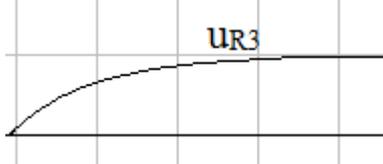


Рис.52,а

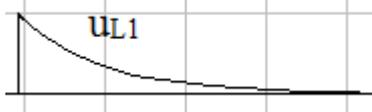
при замкнутом ключе мы имеем две независимые цепи первого порядка RC и RL, переходные процессы описываются экспонентами

Для RL - цепи

энергия индуктивного элемента  $Li^2/2$  накапливается, следовательно, напряжение резистора  $R_3$  пропорционального току индуктивности возрастает по экспоненте

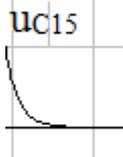


напряжение индуктивности падает

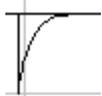


Для RC- цепи

энергия ёмкостного элемента  $Cu^2/2$  рассеивается на резисторе  $R_6$ . Следовательно, напряжение емкости убывает по экспоненте

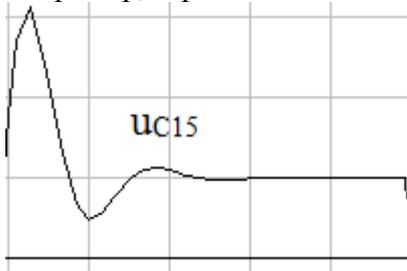


ток во время этого также по модулю убывает

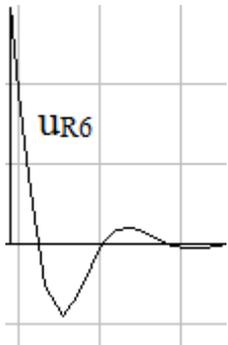
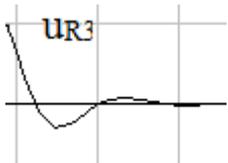


при разомкнутом ключе мы имеем цепь второго порядка, в которой имеет место колебательный переходный процесс, графики напряжений элементов рассмотрены в предыдущей работе

например, зарядка конденсатора происходит по колебательному закону



при этом ток убывает, а, следовательно, и пропорциональные ему напряжения резисторов также убывают по колебательному закону



2. Объяснить вид переходных процессов в цепи рис.53 - тока в катушке индуктивности и напряжения на конденсаторе для двух положений ключа. Рассчитать постоянные времени переходных процессов при замыкании и размыкании электронного ключа.

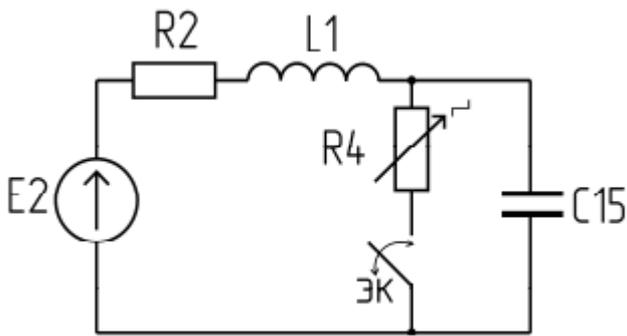
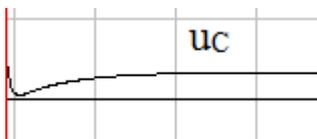
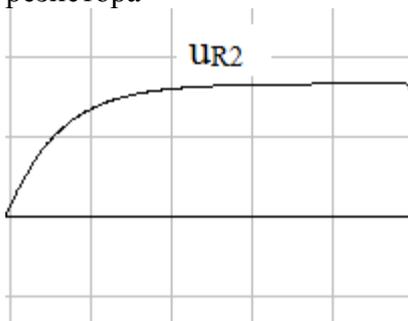


Рис.53

при замыкании ключа заряженный (до максимума  $u_C(0) = E_2 = 10\text{В}$ ) конденсатор разряжается по аperiодическому закону до напряжения  $2E_2/3 = 6.67\text{ В}$



при этом цепь больше не разорвана, появляется ток в цепи, а, следовательно, и напряжение у второго резистора

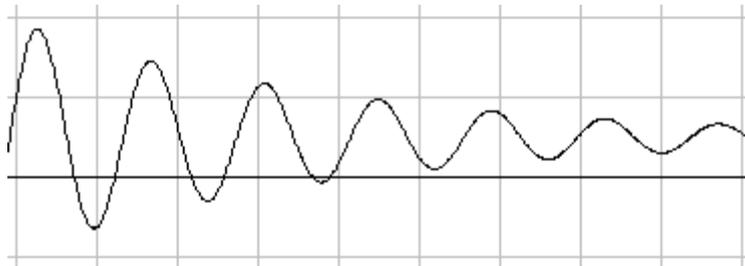


при подборе сопротивления  $R_4$  выше некоторого значения

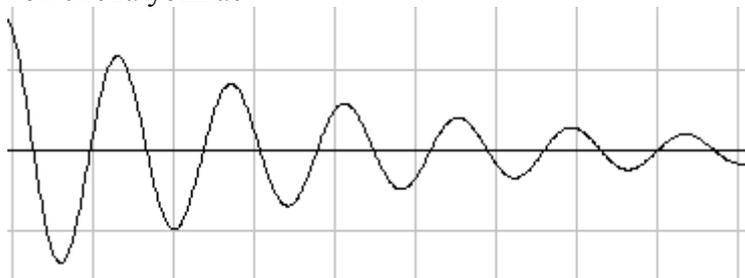
$$R_4 > 211.769 \quad \text{Ом}$$

апериодический закон изменяется на колебательный

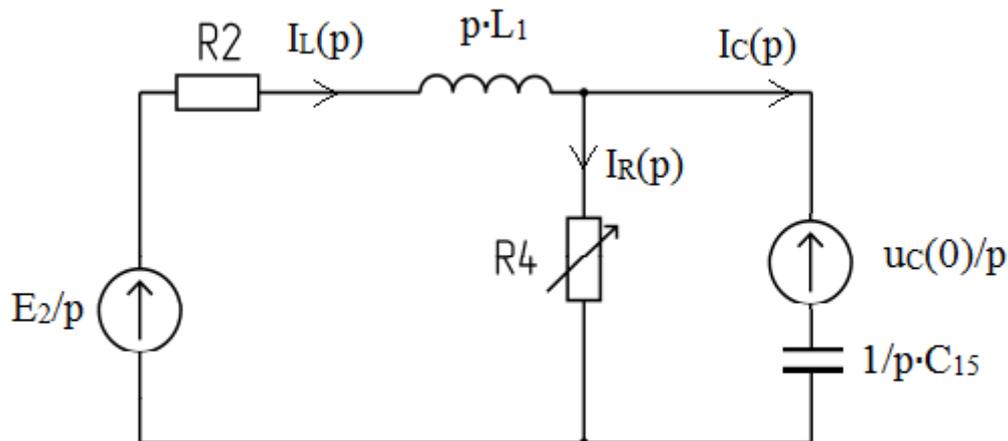
**при размыкании ключа**, конденсатор снова стремится зарядиться до максимума, однако в этом состоянии переходный процесс является колебательным, график напряжения ёмкости имеет вид



ток снова убывает



3. Для схемы рис. 53, при замкнутом ключе, нарисовать операторную схему замещения. Составить систему уравнений в операторной форме.



$$u_C(0) = E_2$$

$$I_L(p) = I_C(p) + I_R(p)$$

$$\frac{E_2}{p} = (R_2 + p \cdot L_1) \cdot I_L(p) + R_4 \cdot I_R(p)$$

$$R_4 \cdot I_R(p) = \frac{1}{p \cdot C_{15}} \cdot I_C(p) + \frac{u_C(0)}{p}$$

4"Д". Операторным методом найти закон изменения тока в катушке индуктивности  $i_{L1}$  и напряжения на конденсаторе  $u_C$  при замкнутом ключе для значения  $R_4=100$  Ом и значения  $R_4$ , определенного в п.3 экспериментальной части.

$$R_4 = 100 \text{ Ом} \quad L_1 = 0.2 \text{ Гн} \quad C_{15} = 1 \times 10^{-6} \text{ Ф} \quad R_2 = 50 \text{ Ом} \quad u_C(0) = 10 \text{ В} \quad E_2 = 10 \text{ В}$$

$$I_L(p) = I_C(p) + I_R(p)$$

$$\frac{10}{p} = (50 + p \cdot 0.2) \cdot I_L(p) + 100 \cdot I_R(p)$$

$$100 \cdot I_R(p) = \frac{1}{p \cdot 10^{-6}} \cdot I_C(p) + \frac{10}{p}$$

откуда

$$I_L(p) := \frac{500000}{\left[ p \cdot (10250 \cdot p + 7500000 + p^2) \right]} \quad I_C(p) := \frac{-1}{10} \cdot \frac{(250 + p)}{(10250 \cdot p + 7500000 + p^2)}$$

$$U_C(p) := \frac{1}{p \cdot C_{15}} \cdot I_C(p) + \frac{10}{p}$$

обратное преобразование Лапласа

$$i_L(t) := I_L(p) \text{ invlaplace, } p \rightarrow \frac{1}{15} - \frac{1}{15} \cdot \exp(-5125 \cdot t) \cdot \cosh(125 \cdot \sqrt{1201} \cdot t) - \frac{41}{18015} \cdot \exp(-5125 \cdot t) \cdot \sqrt{1201} \cdot \sinh(125 \cdot \sqrt{1201} \cdot t)$$

$$u_C(t) := U_C(p) \text{ invlaplace, } p \rightarrow \frac{20}{3} + \frac{10}{3} \cdot \exp(-5125 \cdot t) \cdot \cosh(125 \cdot \sqrt{1201} \cdot t) - \frac{1990}{3603} \cdot \exp(-5125 \cdot t) \cdot \sqrt{1201} \cdot \sinh(125 \cdot \sqrt{1201} \cdot t)$$

$$R_4 = 800 \text{ Ом} \quad L_1 = 0.2 \text{ Гн} \quad C_{15} = 1 \times 10^{-6} \text{ Ф} \quad R_2 = 50 \text{ Ом} \quad u_C(0) = 10 \text{ В} \quad E_2 = 10 \text{ В}$$

$$I_L = I_C + I_R$$

$$\frac{10}{p} = \left( 50 + p \cdot \frac{2}{10} \right) \cdot I_L + 800 \cdot I_R$$

$$800 \cdot I_R = \frac{1}{p \cdot 10^{-6}} \cdot I_C + \frac{10}{p}$$

$$I_L(p) := \frac{62500}{\left[ p \cdot (1500 \cdot p + 5312500 + p^2) \right]}$$

$$I_C(p) := \frac{-1}{80} \cdot \frac{(250 + p)}{(1500 \cdot p + 5312500 + p^2)}$$

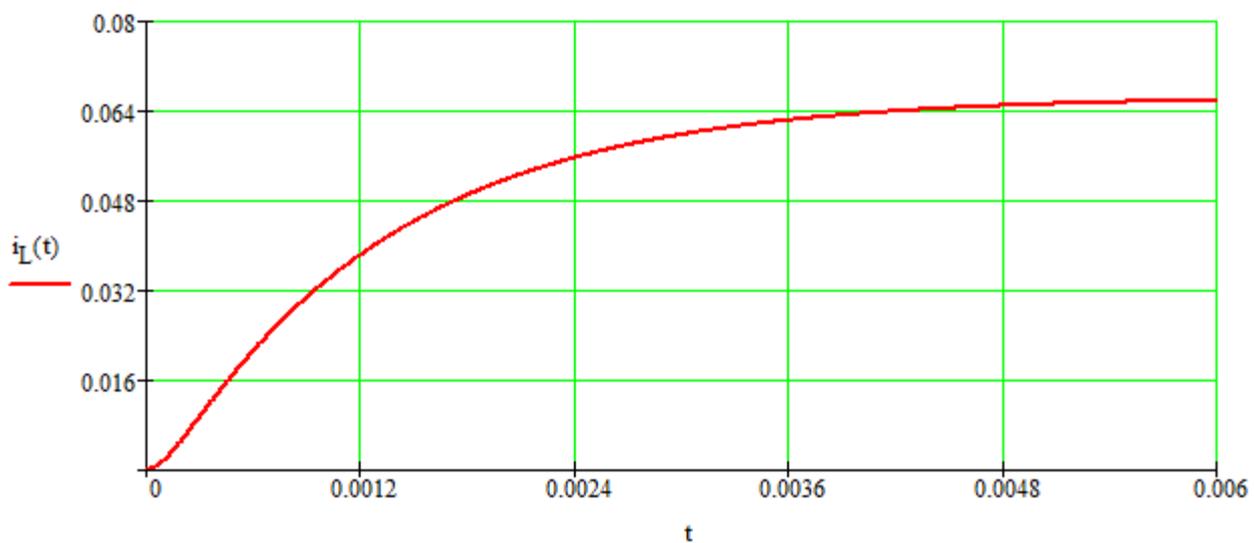
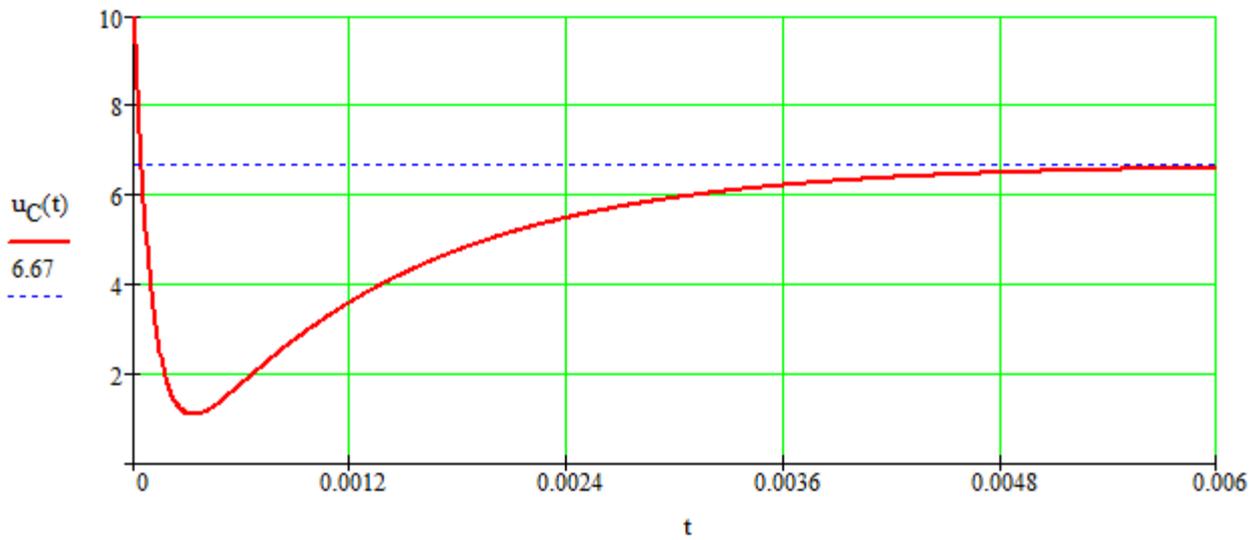
$$U_C(p) := \frac{1}{p \cdot C_{15}} \cdot I_C(p) + \frac{10}{p}$$

$$i_L(t) := I_L(p) \text{ invlaplace, } p \rightarrow \frac{1}{85} - \frac{1}{85} \cdot \exp(-750 \cdot t) \cdot \cos(500 \cdot \sqrt{19} \cdot t) - \frac{3}{3230} \cdot \exp(-750 \cdot t) \cdot \sqrt{19} \cdot \sin(500 \cdot \sqrt{19} \cdot t)$$

$$u_C(t) := U_C(p) \text{ invlaplace, } p \rightarrow \frac{160}{17} + \frac{10}{17} \cdot \exp(-750 \cdot t) \cdot \cos(500 \cdot \sqrt{19} \cdot t) - \frac{410}{323} \cdot \exp(-750 \cdot t) \cdot \sqrt{19} \cdot \sin(500 \cdot \sqrt{19} \cdot t)$$

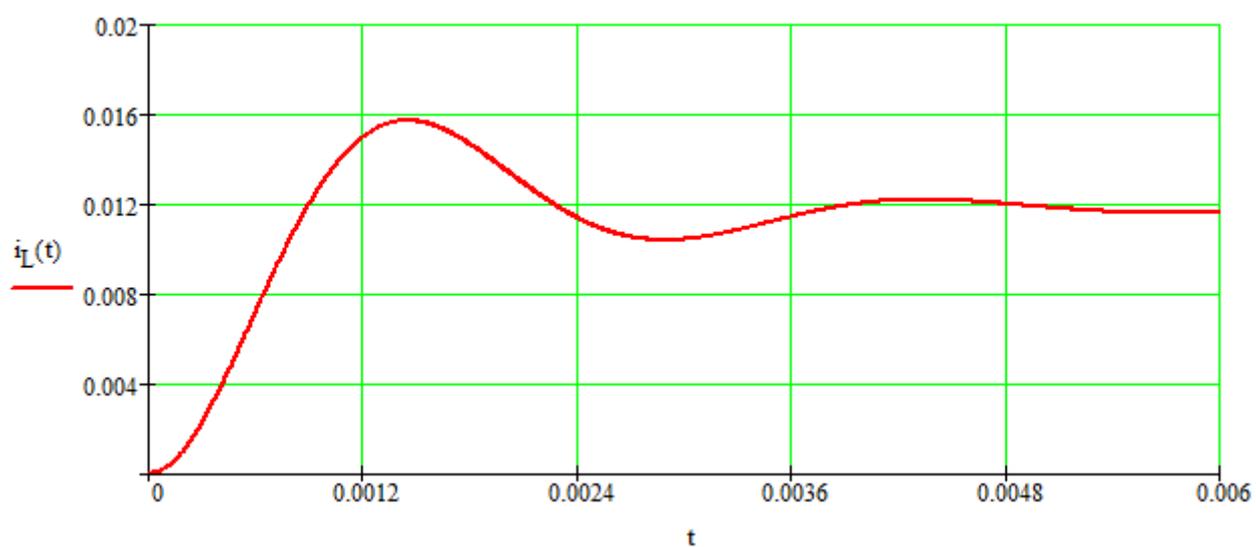
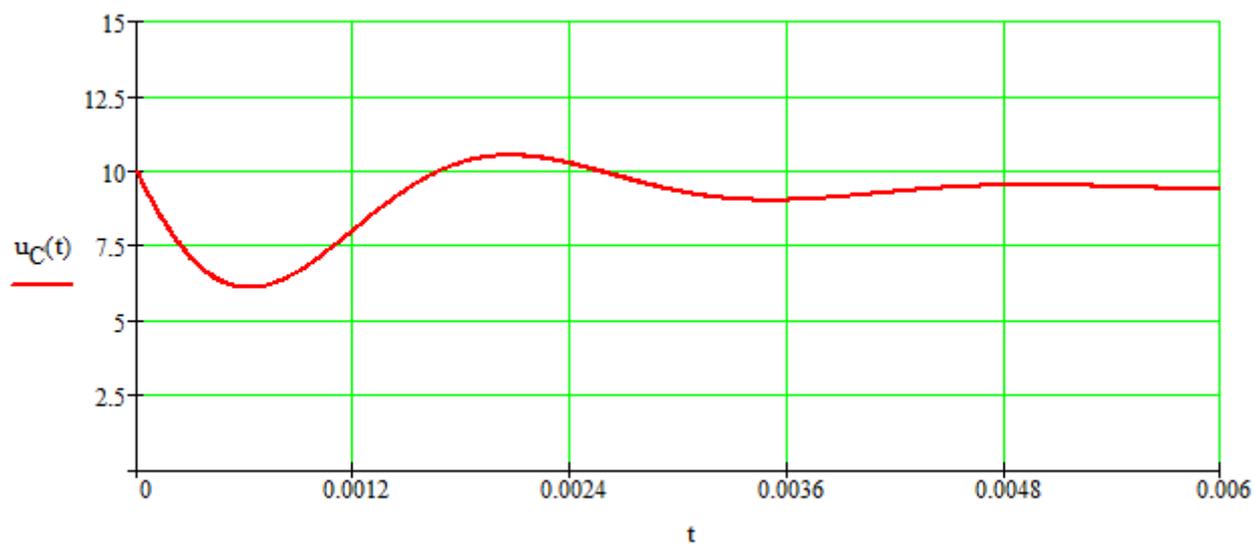
5"Д". Построить кривые, графически выражающие закон изменения  $i_L$  и  $u_C$  в функции времени, и сравнить их с экспериментальными кривыми переходных процессов, зарисованными с экрана осциллографа.

$R_4 = 100 \text{ Ом}$



графики соответствуют экспериментальным данным

$R_4 = 800 \text{ Ом}$



графики соответствуют экспериментальным данным